

*Мальцева Л.А., Мальцева Т.В., Шарапова В.А., Озерец Н.Н., Левина А.В.*

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

г. Екатеринбург

*mla44@mail.ru*

## **ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАСТАБИЛЬНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ОБРАБОТКИ**

Выбор варианта технологического режима существенно зависит от химического состава стали, ее индивидуальных особенностей, а иногда и от ее плавки. При этом необходимо обеспечивать наиболее оптимальное сочетание физико-механических свойств высокопрочного состояния. В этом случае необходим оперативный контроль над состоянием структуры стали на каждом этапе технологии изготовления изделия.

Для решения этой задачи использование традиционных методик структурного анализа, особенно на заготовках малого сечения, включая измерение твердости, бывает существенным образом затруднено. Одним из выходов для такого положения является привлечение измерений ряда физических свойств металлов, проводимых на длинномерных заготовках малого сечения. К ним можно отнести проведение измерений магнитного фазового анализа, удельного электросопротивления, использование динамических методик определения модулей упругости в зависимости от температуры нагрева, либо отжига образцов.

В данной работе на примере аустенитной стали 03X14H11K5M2ЮТ проведены параллельные измерения физических свойств и ряда трудоемких традиционных оценок состояния структуры стали в процессе технологической цепочки производства высокопрочной проволоки. Целью данной работы являлось выработка критериев, позволяющих использовать результаты измерения зависимостей физических свойств для оптимизации технологического процесса производства изделий с выходом на максимальные значения прочности для однотипных сталей и их плавок не прибегая к сложным структурным исследованиям на малогабаритных заготовках образцов.

Исследуемая высокопрочная коррозионностойкая аустенитная сталь вследствие низкого содержания углерода и дополнительного легирования кобальтом обладает высокой пластичностью, что позволяет проводить деформацию волочением до высоких степеней обжатия ( $\epsilon = 2,32$  и выше) и

значительно сократить количество промежуточных смягчающих термических обработок при производстве тонкой проволоки.

Мобильной методикой оценки состояния структуры металла проволочных образцов является измерения электросопротивления. В данной работе измерение электросопротивления проводилось в зависимости от температуры нагрева при старении как на закаленных образцах, так и на образцах, прошедших последующее деформирование. Обращает на себя внимание различия в уровнях для мартенситного и аустенитного состояний вплоть до температур порядка 500 °С, общая тенденция снижения этих уровней с повышением температуры нагрева и реакция на процессы выделения фаз при распаде пересыщенных твердых растворов.

Изменение уровня дефектности любого металла всегда сказывается на его плотности. Так уровень плотности для деформированных состояний ниже, чем у закаленных, также наблюдается общая тенденция увеличения плотности с увеличением температуры нагрева с выравниванием при снижении различий в фазовом составе исследованных состояний.

Помимо этого на проволочных образцах при наличии специального оборудования возможно проведение оперативных измерений модулей упругости. Результаты измерений модулей упругости на макроскопическом структурном уровне, как правило, состоят из двух компонент. К первой (свыше 90 % от полученного результата) можно отнести уровень «идеального» модуля упругости, определяемого энергией взаимодействия атомов в кристаллической решетке сплава. Вторая же (отрицательная), представляет собой структурную компоненту в виде «дефекта модуля», определяемую наличием в структуре сплава подвижных дефектов кристаллической решетки, в первую очередь, наличием развитого дислокационного «ансамбля» и степенью его подвижности. Чем выше эти параметры, тем выше их вклад в процессы формирования «дефекта модуля», тем ниже измеряемые значения модулей упругости.

Примечательно, что с переходом от модуля Юнга к модулю сдвига положение кривых закаленного и деформированного состояний поменялось. В случае модуля Юнга, «дефект модуля» для деформированного состояния выше, чем для закаленного состояния. Это вполне естественно, учитывая повышенный уровень дефектности деформированных состояний, нашедший свое отражение в изменении электросопротивления и плотности образцов. Нарушение этой закономерности в случае с модулем сдвига, связано, очевидно, с тем, что в закаленном состоянии, несмотря на более

низкую плотность дислокаций, подвижность дислокационного ансамбля существенно выше, чем у высокодефектного деформированного состояния. Очевидно, немаловажную роль здесь играет уровень «мягкости» напряженного состояния в образце, определяемый повышенной долей касательных напряжений по отношению к нормальным.

Таким образом, проведены измерения ряда зависимостей, отражающих изменения в структуре исследуемой стали в процессе технологии изготовления высокопрочной проволоки. Показано, что результаты измерений физических свойств материала проволоки могут быть использованы для оптимизации технологии упрочнения сплава взамен трудоемких методов оценки структурного состояния металла.